



**You have downloaded a document from  
RE-BUS  
repository of the University of Silesia in Katowice**

**Title:** Kompleksowa analiza danych

**Author:** Zbigniew Perski

**Citation style:** Perski Zbigniew. (2010). Kompleksowa analiza danych. W: W. M. Zuberek, K. Jochymczyk (red.), "Geneza i charakterystyka zagrożenia sejsmicznego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym" (S. 41-44). Katowice : Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersYTET ŚLĄSKI  
W KATOWICACH



Biblioteka  
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

całego planowanego obszaru. Przeprowadzono również testy rozwijania fazy metodą bootstrapping, jednak uzyskano wówczas znacznie większe błędy dla obszarów sieci o słabym połączeniu.

Dla badanego obszaru otrzymano 883 punkty PSC, dla których uzyskano 2613 boków siatki trójkątów. Na etapie przestrzennego rozwijania fazy odrzucono 544 boki, co stanowi 39,05%. Ostatecznie otrzymano 77 097 punktów PS. Po odrzuceniu punktów PS charakteryzujących się niską koherencją ostatecznie do analiz użyto 62 212 punktów. Ich rozkład przestrzenny i zakres deformacji przedstawiono na rys. 3.25.

### 3.2.5. Analiza dokładności wyników uzyskanych dla obszaru GZW

W przypadku deformacji określanych na podstawie interferogramów dokładność pomiaru uzależniona jest od precyzji manualnego rozwijania fazy i waha się w granicach  $\pm 52$  mm/r. (0,5 cm/35 dni). Należy podkreślić, że wykrywalne za pomocą tej metody są jedynie obniżenia bezpośrednio związane z odbywającą się eksploatacją podziemną. Górną granicą mierzalności deformacji jest przyrost nachylenia skłonu niecki: jeśli przekroczy ok. 1,5 mm/m, to deformacja taka spowoduje utratę koherencji (PERSKI, 2003).

W trakcie badań porównywano lokalizacje osiadań stwierdzanych interferometrycznie z aktualną (na okres objęty interferogramem) pozycją frontu wydobywczego. Analizy takie prowadzono zgodnie z mapami eksploatacji podziemnej lub na podstawie analizy danych interferometrycznych przez działy mierniczo-geologiczne kopalń. Z danych pochodzących z kopalń: „Katowice-Kleofas”, „Wujek”, „Polska-Wirek”, „Mysłowice”, „Halemba”, „Makoszowy”, „Bolesław Śmiały”, „Szczygłowie” i „Knurów”, wynika jednoznacznie, że wszystkie deformacje określone interferometrycznie mają ścisły związek z eksploatacją podziemną. Ponadto prace prowadzone na obszarze LGOM (KRAWCZYK, PERSKI, 2000) potwierdziły ten związek.

W przypadku metody PSInSAR trudno jest jednoznacznie zdefiniować dokładność. Najczęściej podaje się, że dokładność wyznaczenia prędkości deformacji dla modelu liniowego wynosi ok.  $\pm 1$  mm/r. Trzeba jednak pamiętać, że wartości te są względne zarówno w czasie, jak i w przestrzeni: w czasie — w stosunku do sceny obranej za referencyjną, a w przestrzeni — w odniesieniu do punktu obranego za referencyjny. Przyjmuje się, że deformacja w punkcie referencyjnym równa się

zero. Założenie to ma ważne implikacje praktyczne, w przypadku bowiem gdy punkt ten wykazuje rzeczywiste osiadanie, część punktów, w rzeczywistości stabilnych, w metodzie PSInSAR wykaże podnoszenie. Należy być zatem bardzo ostrożnym w interpretacji takiego właśnie „podnoszenia”. Dla każdego z punktów PS liczone są tzn. residua, czyli wielkości odstępstwa pojedynczych obserwacji od modelu liniowego. Bardzo często informacje te są niezwykle cenne, gdyż pokazują rzeczywistą deformację punktu PS w czasie. Jeśli chodzi o residua, to także należy być ostrożnym, gdyż ich wielkość zależy od tego, na ile dobrze został wyznaczony obraz składowej atmosferycznej. Składowa atmosferyczna wyznaczana jest na podstawie przyjętych *a priori* modeli atmosfery. Nieprawidłowo określona (przeszacowana lub nieoszacowana) wartość tej składowej może zatem wpłynąć na wartości poszczególnych residuów. Należy podkreślić, że najbardziej wiarygodną informacją uzyskiwaną metodą PSInSAR jest prędkość deformacji. Oczywiście, jest ona wyznaczana dla tych punktów, których przebieg w czasie można zaproksymować funkcją liniową. Dla obszaru GZW, gdzie bezpośrednio wpływy eksploatacji są nieliniowe zarówno w czasie, jak i w przestrzeni, nie uzyskuje się prawidłowego obrazu deformacji. Dla obszarów, na których prowadzono wydobywanie, nie otrzymano w ogóle punktów PS. Obraz deformacji był możliwy jedynie na obrzeżach tych rejonów, czyli tam, gdzie jest on liniowy wskutek dużej odległości od prowadzonej eksploatacji.

## 3.3. Kompleksowa analiza danych

### 3.3.1. Analiza interferogramów

Na podstawie analizy interferogramów można stwierdzić, że przestrzennie strefy występowania osiadań układają się w dwa równoleżnikowe pasy:

- północny — obejmujący nieckę bytomską,
- południowy — występujący w rejonie południowego skrzydła siodła głównego.

Oba pasy bardzo dobrze korelują ze strefowym występowaniem wstrząsów górniczych. Jak już wspomniano, występowanie stref obniżania na interferonach odpowiada rejonom prowadzonej eksploatacji, stąd wniosek, że pasowy układ stref osiadania jest wynikiem prowadzonej w specyficzny sposób eksploatacji. Rozmieszczenie eksploatacji

warunkowane jest natomiast następującymi czynnikami:

- budową geologiczną złoża: dostępność i zasobność pokładów, tektonika złoża, warunki hydrogeologiczne;
- granicami obszarów górniczych i koncesji wydobywczych oraz obecnością infrastruktury górniczej, opłacalnością wydobywania;
- występowaniem obszarów wyeksploatowanych.

Szczególnie ostatni z wymienionych czynników tłumaczy fakt występowania obszaru stabilnego w samym centrum GZW, na obszarze siodła głównego. Eksploatacja na tym terenie została bowiem zakończona w latach 1940—1980, z uwagi na wyeksploatowanie złoża. Zdaniem autora, spłot trzech wymienionych czynników warunkuje istnienie pasowego występowania stref osiadania, a widoczna korelacja przestrzenna „pasów” z budową geologiczną jest sprawą wtórną, wynikającą z warunków górniczo-geologicznych eksploatacji. Stwierdzenie to nie wyklucza istnienia lokalnych anomalii prędkości osiadania, wywołanych wstrząsami górniczymi, uskokami, obecnością starych zrobów w nadkładzie. Ich identyfikacja wymaga jednak szczegółowej analizy poszczególnych przypadków eksploatacji na pojedynczych ścianach wydobywczych (KRAWCZYK i in., 2007; PERSKI, JURA, 2003).

Na obszarze badań analizie poddano otoczenie punktów monitoringu GPS. Szczegółowo zanalizowano interferogramy obejmujące okres podobny do prowadzonych kampanii pomiarowych GPS.

Tabela 3.2. Interferogramy i pomiary GPS

Numer	Daty interferogramu	Satelita/ścieżka	Numer kampanii GPS	Data kampanii GPS
1	2.11.2004—11.01.2005	ES/143	I	25.11.2005
2	brak rejestracji	—	II	1.06.2006
3	brak rejestracji	—	III	16.11.2006
4	23.05.07—27.06.2007	ES/222	IV	01.06.2007

Jak wynika z tabeli 3.2, uzyskano dane interferometryczne jedynie dla kampanii I i IV. Otrzymane interferogramy generalnie prezentują stosunkowo wysoką koherencję, przy czym jakość interferogramu dla kampanii I jest znacznie wyższa. Na podstawie interferogramów stwierdzono, że punkty monitoringu GPS o numerach 6 i 7 znajdowały się na obszarze, na którym zachodziło obniżanie terenu spowodowane eksploatacją podziemną. Punkt 3 znajdował się w rejonie eksploatacji w latach 1995—2004.

W przypadku punktów 6 i 7 obniżenia stwierdzane metodą InSAR dla okresu kampanii I miały dość znaczną wielkość — nawet ok. 1,5 mm/dzień. Dokładna wielkość nie jest znana ze względu na

niską koherencję. Dla kampanii IV w rejonie punktów również zachodziły ruchy obniżające o nieznaanej amplitudzie powierzchni 0,8 mm/dzień (słaba koherencja interferogramu).

Jeśli chodzi o punkty 4, 5 i 9, to nie stwierdzono występowania dużych przyrostów osiadania, jednak punkt 5 może im podlegać z uwagi na bliskie sąsiedztwo aktywnego wydobywania (ok. 1 km w kierunku SW). W świetle analizy InSAR punkty 4 i 9 można uznać za stabilne, niepodlegające obecnie bezpośredniemu wpływom aktualnie prowadzonej eksploatacji.

W rejonie północnym punkty monitoringu GPS o numerach 1 i 2 należy uznać za stabilne. Punkt 3, podobnie jak punkt 5, leży w bezpośrednim sąsiedztwie aktywnego skłonu niecki osiadań (ok. 1 km w kierunku NW). Punkt 3 znajdował się natomiast w rejonie objętym osiadaniami w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku.

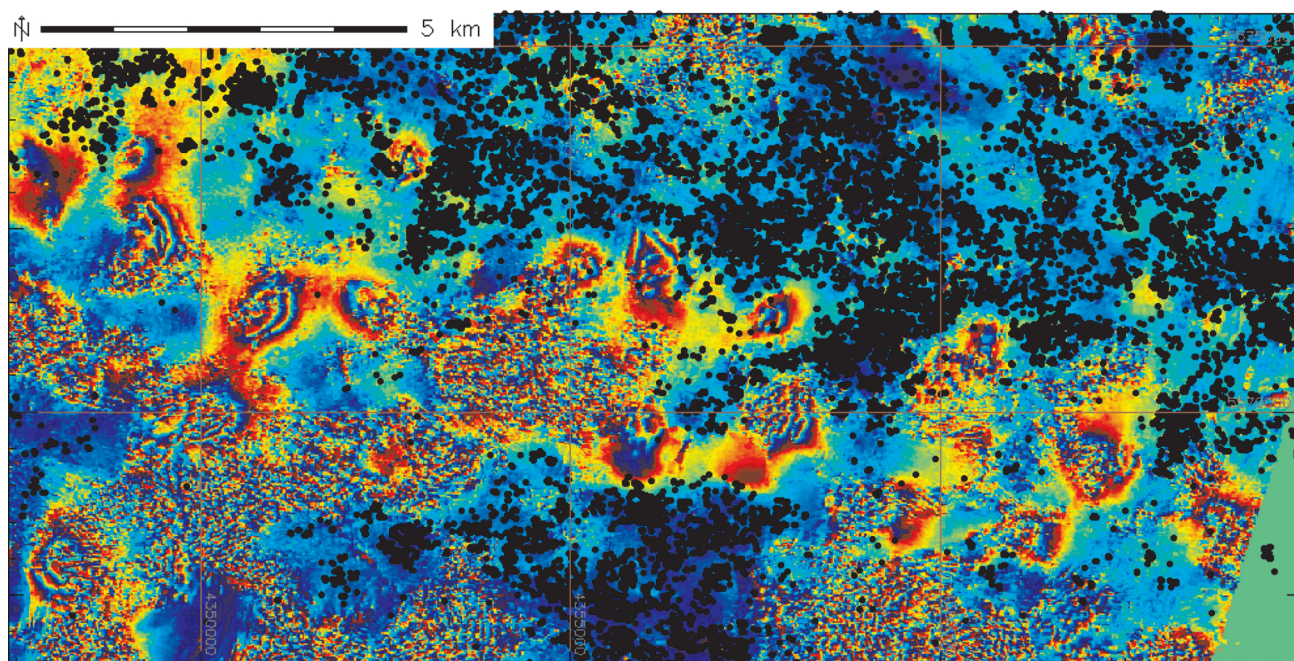
Uzyskane punkty PS prezentują wielkości obliczonej prędkości deformacji (mm/r.) przy założeniu modelu liniowego. Deformacja liczona jest względem punktu referencyjnego. W analizowanym przypadku punkt referencyjny leży w rejonie Stadionu Śląskiego w Chorzowie (rys. 3.24), stąd stosunkowo niewielka liczba punktów wykazujących podnoszenie. Z rozkładu przestrzennego wartości deformacji liniowych wynika, że najstabilniejszym obszarem centralnej części GOP jest właśnie rejon Chorzowa, z uwagi na zakończoną dosyć dawno eksploatację podziemną.

Jak już wspomniano, dla obszaru GZW zakres zmierzonych metodą PSInSAR deformacji jest znacznie niższy niżeli tych wykazywanych przez pomiary naziemne. Należy jednak zaznaczyć, że nie uzyskano punktów na obszarach, na których odbywała się eksploatacja podziemna węgla (deformacje nieliniowe). Z porównania rozmieszczenia PS z interferogramami (rys. 3.25) jednoznacznie wynika, że algorytmy zastosowane w metodzie PSI obecnie nie nadają się do mierzenia deformacji pochodzących od podziemnego wydobywania węgla kamiennego.

Pomiary uzyskane metodą PS dobrze charakteryzują deformacje na terenach, na których eksploatacja górnicza została zakończona wiele lat temu, gdzie występujące nadal powolne deformacje mają charakter podobny do liniowego. Podczas interpretacji wyników z dużą ostrożnością należy traktować odizolowane, pojedyncze punkty położone wewnątrz kompleksów leśnych, gdyż w takich przypadkach występują bardzo często błędy rozwiązywania fazy, wynikające ze słabej redundancji sieci trójkątów.

Przeprowadzono analizę porównawczą danych PSInSAR i GPS dla punktów monitoringu. Ponie-





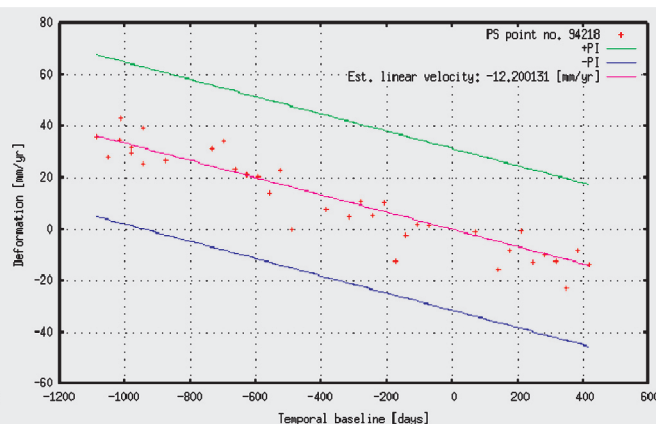
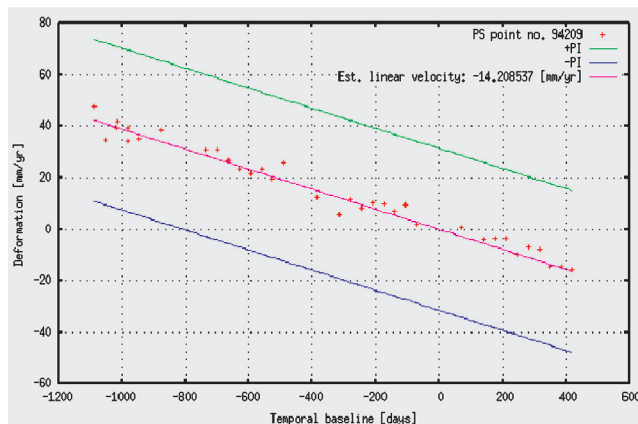
Rys. 3.25. Rozmieszczenie punktów PS w stosunku do klasycznego interferogramu D-InSAR (17.08.1998—21.08.1998)

Wyraźnie widoczny brak punktów PS na obszarach aktywnie prowadzonej eksploatacji w rejonach występowania prążków interferometrycznych

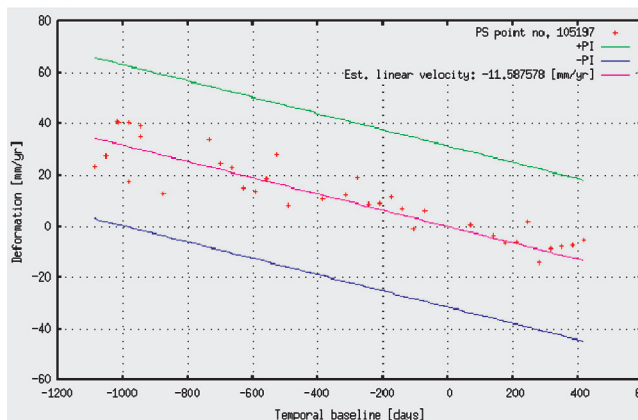
waż metoda PSInSAR jako oportunistyczna nie pozwala na zdefiniowanie położenia punktu pomiarowego, do celów porównawczych użyto najbliższych punktów PS. Z uwagi na fakt lokalizacji niektórych punktów GPS na obszarach aktywnego

wydobycia porównanie było możliwe jedynie w przypadku niektórych punktów (2, 4, 5). Punkty 1, 9 znajdują się poza obszarem opracowania PS, natomiast punkty 3, 6, 7, 8 — na obszarach objętych deformacjami nieliniowymi (rys. 4.26).

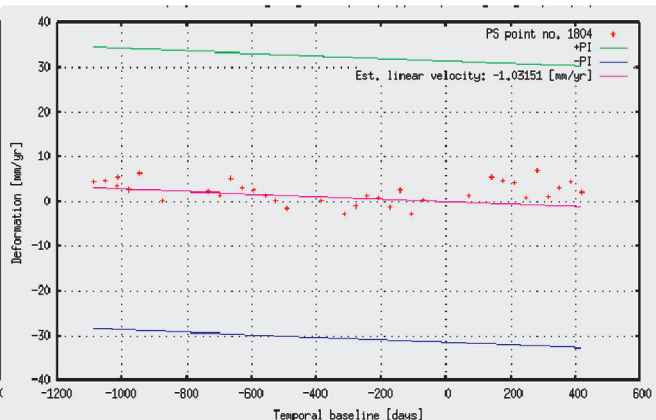
Punkt GPS nr.4



Punkt GPS nr.5



Punkt GPS nr.2



Rys. 3.26. Deformacje liniowe i residua PSInSAR dla punktów GPS 2, 4, 5. Analiza PSInSAR obejmuje lata 1995—2000

## Literatura

- BOSY J., KONTNY B., CACON S., 2006: *The Earth crust surface movements in SW Poland from GPS and leveling data*. Reports on Geodesy 76.
- CATTABENI M., MONTI-GUARNIERI A., ROCCA F., 1994: *Estimation and Improvement of Coherence in SAR Interferograms*, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Pasadena, CA, USA, 8–12 August 1994, s. 720–722.
- CZARNECKA K., 1988: *Problemy interpretacji badań współczesnych ruchów skorupy ziemskiej w Polsce*. W: „Geodezja”. Z. 31. Warszawa, Politechnika Warszawska.
- CZARNECKI K., 2004: *Badania geodynamiczne pienińskiego pasa skałkowego w rejonie Czorsztyna*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- CZARNECKI K., MOJZES M., PAPCO J., WALO J., 2003: *First results of GPS measurements campaigns in Tatra Mountains*. Reports on Geodesy 64.
- FERRETTI A., PRATI C., ROCCA F., 2001: *Permanent Scatterers in SAR Interferometry*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 39(1), s. 8–20.
- GÓRAL W., BANASIK P., MACIASZEK J., SZEWCZYK J., 2005: *Badawcza sieć geodynamiczna na obszarze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
- GÓRAL W., SZEWCZYK J., 2004: *Zastosowanie technologii GPS w precyzyjnych pomiarach deformacji*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza.
- KAMPES B.M., 2005: *Displacement Parameter Estimation using Permanent Scatterer Interferometry*. Delft, the Netherlands, Delft University of Technology.
- KAMPES B.M., HANSSEN R.F., PERSKI Z., 2003: *Radar Interferometry with Public Domain Tools*. Third International Workshop on ERS SAR Interferometry, ‘FRINGE03’, Frascati, Italy, 1–5 Dec 2003, s. 6.
- KRAWCZYK A., PERSKI Z., 2000: *Application of satellite radar interferometry on the areas of underground exploitation of copper ore in LGOM — Poland*, 11th International Congress of the International Society for Mine Surveying. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, s. 209–218.
- KRAWCZYK A., PERSKI Z., HANSSEN R., 2007: *Application of ASAR interferometry for motorway deformation monitoring*. ESA ENVISAT Symposium, Montreux, Switzerland, 23–27 April 2007.
- PERSKI Z., 2000: *Zastosowanie satelitarnej interferometrii radarowej do określania dynamiki i zasięgu górniczych deformacji terenu na przykładzie wybranych obszarów Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Sosnowiec, WNoZ UŚ [praca doktorska — niepublikowana], s. 9–40.
- PERSKI Z., 2003: *InSAR and POLinSAR for land subsidence monitoring — a user perspective*. Applications of SAR Polarimetry and Polarimetric Interferometry. Frascati, ESA.
- PERSKI Z., JURA D., 2003: *Identification and measurement of mining subsidence with SAR interferometry: potentials and limitations*. In: 11th International Symp. on Deformation Measurements, Santorini, s. 165–171.
- PERSKI Z., KETELAAR G., MRÓZ M., 2007: *Interpretacja danych Envisat/ASAR o przemiennej polaryzacji na obszarach zurbanizowanych w kontekście charakterystyki stabilnych rozpraszaczy (persistent scatterers)*. Arch. Fotogrametrii i Teledetekcji, 16, s. 467–482.
- PERSKI Z., MRÓZ M., 2007: *Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR*. Arch. Fotogrametrii i Teledetekcji, 17, s. 613–624.
- PRATI C., ROCCA F., 1994: *Use of the spectral shift in SAR interferometry*, Second ERS-1 Symposium-Space at the Service of our Environment, Hamburg, Germany, 11–14 October 1993, s. 691–696.
- ZEBKER H.A., GOLDSTEIN R.M., 1986: *Topographic Mapping From Interferometric Synthetic Aperture Radar Observations*. J. Geophys. Res., 91(B5), s. 4993–4999.
- ZEBKER H.A., VILLASENOR J., 1992: *Decorrelation in interferometric radar echoes*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30(5), s. 950–959.

Zbigniew Perski